

一种快速确定地层压力的新方法

四川石油管理局川西南矿区 唐雪清

地层压力是描述油气藏类型、计算地质储量、了解油气藏目前动态以及预测未来动态的一项必不可少的数据。目前,矿场上往往采用较长时间的压力恢复试井来获取它,这不仅要花费大量的测试费用,而且影响了油、气产量任务的完成。作者基于最近国外出现的分形压力不稳定分析理论,提出一种确定地层压力的新方法,有效地解决了这一难题。

方法的引导

Chang 和 Yortsos 的分形压力不稳定分析理论指出,原点处恒定产量井的无因次压力响应解为:

$$p(r,t)=\frac{r^{(2+\theta)(1-\delta)}}{\Gamma(\delta)(\theta+2)}\Gamma(1-\delta,\frac{r^{2+\theta}}{(2+\theta)^2t})$$
 (1)

式中: $p(r,t)$ 为 t 时刻距离 r 的无因次压力降;

$\delta=\frac{D}{2+\theta}$, 其中 D 为维数;

θ 为反常扩散指数;

$\Gamma(x)$ 为伽马函数;

$\Gamma(x,y)$ 为不完全伽马函数。

当变量 $\frac{r^{2+\theta}}{(2+\theta)^2t}$ 较小时,与井筒处的初期时刻相对应,可以采用 $\Gamma(x,y)$ 级数展开的前两项求得:

$$p_w=常数+\frac{(2+\theta)^{1-2\delta}}{(1-\delta)\Gamma(\delta)}t^{1-\delta}$$
 (2)

式中常数由 δ,θ 求出。

式(1)表示井底压力与 $(1-\delta)$ 有关。因 $\delta=\frac{D}{2+\theta}$ 且 $\theta>0$, 故 $\delta<1$ 或 $\delta>1$ 时,对应于维数 $D<2$ (介于线性和径向之间的流动特性)以及 $D>2$ (介于径向和球形之间的流动特性)。

当 $\delta<1$ 时,与时间无关的常数项很快就比与时间有关的项小得多,故可以忽略。实际有井底压力

$$p_w\propto Ct^{1-\delta}$$
 (3)

式中: C 为常数; t 为时间。

对于 $\delta>1$,在时间充分大时,与时间无关的项起主导作用,压力响应为:

$$p_w=A-Bt^{1-\delta}$$
 (4)

式中: A,B 为正常数。

实际上,均质、径向流动是最常见的情况,下面加以讨论。

我们将式(3)、(4)两边分别乘以 t ,它们分别为:

$$p_w t\propto Ct^{2-\delta}$$
 (5)

$$p_w t=A t-B t^{2-\delta}$$
 (6)

比较式(5)、(6),不难发现,当 $\delta=1$ (对应于均质、径向流系统)时,

$$p_w t\propto Ct$$

或 $p_w t=(A-B)t$

即 $p_w t$ 与 t 呈线性关系,可以写成:

$$p_w t=at+b$$
 (7)

式中: a,b 为常数。上式两边同时除以 t 有:

$$p_w=a+b\frac{1}{t}$$
 (8)

当 t 趋近于无穷大时, $p_w=a$, 即为地层压力 p_R 。

实例验证

四川盆地包 39 井是一口有水气井,日产气 $5.1\times 10^4\text{m}^3$,日产水 348m^3 ,投产 5 d 后关井,采用高精度、高分辨率的存储式电子压力计进行压力恢复试井。储层压力动态具有无限大径向复合储层的特征(图 1),采用本方法求出地层压力 68.176 MPa (图 2),与叠加分析的外推压力 68.213 MPa 很接近,由图 2 看出,实测数据具有较好的线性关系,意味着利用早期关井数据,同样可以求出地层压力。

应用本文方法对四川的 8 口气井的压力恢复数据以及塔里木的 3 口井的钻柱测试资料(一口井为凝析气井,一口

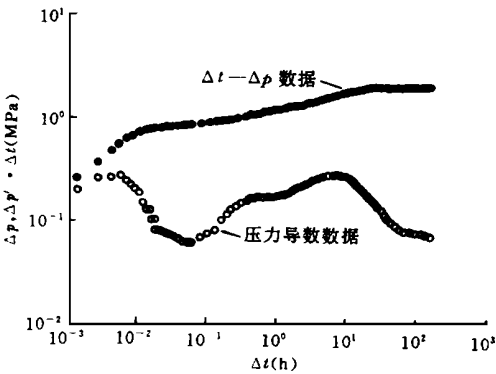


图 1 包 39 井关井数据双对数及压力导数图

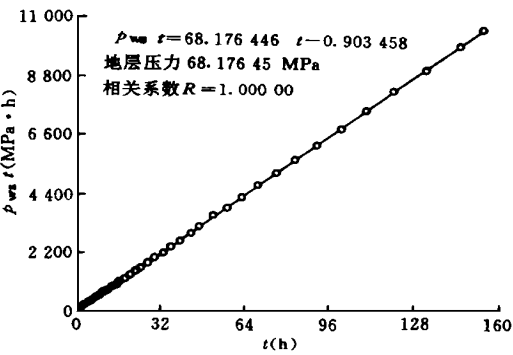


图 2 包 39 井 $p_{ws} \cdot t$ 与 t 关系图

优

化

井

下

作

业

设

计

探

讨

四川石油管理局川东开发公司 张 平 易大波

井下作业是增储上产的重要手段,原产层的改造以及老井上试、侧钻、堵水作业等都直接影响到产能的提高,也直接影响到企业的社会效益。川东气田作为四川天然气的主战场,一部分气田如张家场、福成寨、铁山、沙罐坪已处于开采的中后期,今后的增储上产只有通过井下作业来完成。

地质设计的优化

评层选井、压井液的选用、射孔措施、酸化工艺措施、酸化后的排液等都影响着井下作业效果。其中,评层选井是基础,还直接影响了其它措施的正确选择。统计以往井下作业施工设计,主要存在以下几个方面的问题:

1. 评层选井
- (1) 结合钻井、测井、试采、试井资料搞清储层条件,建议选择:^① 岩性、物性、电性、钻井中显示较好、产量低的井; ^④ 含油气饱和度、孔隙度大于 3%、裂缝发育的低产井; ^④ 具有表皮系数大、堵塞严重、压力恢复呈“厂”字型的井。
- (2) 气藏、单井储量大,能量高,地层压力高,采出程度低的井。
- (3) 受钻井液污染严重的井。
- (4) 以前因措施不当改造情况不好的井。
- (5) 井位应当选择近构造轴部、断层受构造应力影响裂缝较为发育的部位及高产井附近的低产井。

2. 原始资料的提供
- 在设计中应尽可能地提供详细可靠的资料数据。因为对原始资料数据的提供不够准确与全面,在现场的施工中会增加诸多困难。比如:^① 提供可靠的目前地层压力,确定准确的压井液密度,可避免井喷和大的井漏现象。如:铁山五井因地层压力不够准确,造成二次压井,浪费 CaCl₂。^④ 查清钻井液性能,搞清地层岩屑、油、气、水样,为优选压井液提供参考依据,从而达到保护油气层等。

3. 排液及助排措施
- 目前,川东地区试修作业井助排采取措施以注液氮为主,偶尔采取连续油管气举措施。选取助排措施时理由不够充分,故提出以下建议:
- (1) 井不深,酸量大,地层压力与酸液柱压力相当的井采取注液氮的助排方式。其中,液氮在泵压、井温影响下的膨

胀情况、地层压力与酸液柱压力的压差及酸液在井筒中的流动阻力等决定了液氮注入量及泵注压力。

- (2) 井比较深,酸量大,地层压力低于酸液柱压力时考虑采用连续油管助排措施。
- (3) 能间歇自喷井如何能够尽快地将残酸排出?

在开井初始阶段,气量较少,排出物以液体为主,这一段时间应当大排量地放喷排液。随着时间的增长,套管气大量窜入油管,套压急速下降,此时应当关井。开井时应当小排量放气提液面,见出残酸后立即加大排量排残酸,有利于将井筒积液充分排出。如此反复,在排液中能收到良好的效果。

工程设计的优化

1. 大力推广运用优质压井液,减少储层伤害
- 由于井下作业的压井通常是液柱压力大于地层压力,因而不可避免地造成地层伤害,压井液中的滤液和固相颗粒就会渗入地层,造成固相堵塞和粘土水化等问题。
- 为避免或减少地层损害,应选用污染程度小,与地层配伍性好的压井液。川东气田近几年大力推广采用无固相 CaCl₂压井液。这在很大程度上减少了地层污染,取得了显著的效益。

2. 优化射孔参数
- 射孔的优化是试修作业的一项重要内容。射孔参数的确定应建立在准确的地质资料分析、气水分布情况以及储层特性的基础上加以优选,不能一概而论定 10 孔/m 或 16 孔/m。对于中后期开采气藏,有边水,应考虑到射孔及压裂酸化后可能沟通水层而过早产水,给下步工作带来被动局面,对无底水的可以采用全井段射开。对于垂向渗透率较低、含泥页岩夹层、天然水平裂缝发育的地层损害深度较浅的,宁肯降低深穿透以确保高孔密;而对于天然垂直裂缝发育的地层损害较深的各相同性地层以及双层套管,低渗低孔气田,探井等应降低孔密,选用大射孔弹以确保穿深越大。

另外,由于负压差也影响着孔眼,所以必须确定所需的负压差值,控制井内液柱高度及密度,且射孔液不宜用清水,应配成活性水。另外,要积极推广运用射孔优化软件及先进的针对裂缝性地层的定方位射孔技术。

井为油井,一口井为水层)进行了计算,计算值与标定值相符。在计算中,线性回归数据选取关井 0.5~ 1.0 h 以后的点子,以消除纯井筒储集的影响。

本文方法具有较高的精度,适用范围广,既适合于气井

(包括有水气井),又适合于油井;既适用于径向无限大储层,又适合于有界储层。应用本文方法,通常在关井几小时后即可确定地层压力,从而可以缩短关井时间。

(编辑 华 桦 曹 丽)